UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

ANNÉE 1963 N° 209

Principales modifications physico-chimiques du Plasma sanguin au cours du travail musculaire chez l'homme

THÈSE

POUR LE DOCTORAT EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement en Juin 1963

PAR

Jean-Jacques LEGRIS

Pharmacien

Moniteur de Physique à la Faculté

Diplômé de Sérologie, d'Hydrologie et de Phytopharmacie

MEMBRES DU JURY..

MM.	AUVERGNAT	*Président*
	BLANC	
	BOURBON	*Assesseurs.*
	BREUILLAUD	
	BROUSSY	*Suppléant.*

IMPRIMERIE TOULOUSAINE Vve LION
16, RUE LAKANAL, 16
TOULOUSE

1963

Principales modifications physico-chimiques du Plasma sanguin au cours du travail musculaire chez l'homme

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

UNIVERSITE DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

TABLEAU DU PERSONNEL

DOYEN. . . . . MM. Lazorthes.
1er ASSESSEUR . . . . . Blanc.
2e ASSESSEUR. . . . . Sorel.
DOYENS HONORAIRES. . . . . Gorse, Calvet, Lefebvre, Brustier.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. Ribaut, Vallois, Tapie, Delas, Riser.

SECTION MEDECINE

PROFESSEURS

Clinique médicale. . . . . MM. Mériel,
Clinique médicale. . . . . Gadrat.
Clinique chirurgicale et Gynécologie. . . . . Fabre (P.).
Clinique chirurgicale et du Cancer. . . . . Grimoud.
Clinique chirurgicale infantile et Orthopédie . . . . . Virenque.
Clinique des Maladies cutanées et syphilitiques. . . . . Bazex.
Clinique des Maladies de la Tuberculose et Pathologie interne. . . . . Morel.
Clinique des Maladies des voies urinaires . . . . . Lhez.
Clinique médicale infantile et Puériculture. . . . . Sorel (R.).
Clinique médicale de la Première enfance. . . . . Bardier.
Clinique de Neurologie et Psychiatrie. . . . . Géraud.
Clinique obstétricale. . . . . Guilhem (P.).
Clinique odonto-stomatologique. . . . . Cadenat (H.).
Clinique ophtalmologique . . . . Calmettes.
Clinique O.R.L. et de Chirurgie maxillo-faciale . . . . . Calvet.
Rhumatologie. . . . . Ruffié (R.).
Clinique traumatologique des membres. . . . . Rieunau.
Accouchement et Obstétricie sociale . . . . . Pontonnier.
Anatomie. . . . . Lazorthes.
Anatomie appliquée. . . . . Poulhès.
Anatomie pathologique . . . . . Fabre (J.).
Bactériologie, Hygiène, Médecine sociale. . . . . Andrieu.
Chimie biologique . . . . . Valdiguié (P.).
Electro-Radiologie. . . . . Marquès.
Embryologie . . . . . Broussy.
Histologie. . . . . Bimes.
Hydrologie thérapeutique et Climatologie . . . . . Darnaud.
Médecine légale et du Travail Planques.
Médecine sociale . . . . . Bounhoure.
Parasitologie . . . . . Bouisset.
Pathologie chirurgicale . . . . . Dambrin.
Pathologie générale et Médecine expérimentale. . . . . Sendrail.
Physico-Chimie . . . . . Auvergnat.
Physiologie . . . . . Laporte (Y.).
Physiologie appliquée et Pharmacologie. . . . . Baisset.
Physique biologique et médicale. . . . . Bagnard.
Propédeutique médicale. . . . . Laporte (J.).
Thérapeutique . . . . . Dardenne.

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

Anatomie gén. et comparée. . MM. Coulouma.
Bactériologie. . . . . Mme Enjalbert.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Biochimie médicale. . . . . MM. Douste-Blazy.
Histologie et Embryologie. . . . Planel.
Ophtalmologie. . . . . Déodati.
Parasitologie. . . . . Ruffié (J.).
Physiologie . . . . . Montastruc.
Physique médicale. . . . . Bru.

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Anatomie. . . . . MM. Bastide.
Anatomie pathologique. . . . . Bouissou.
Anesthésiologie . . . . . Lareng.
Carcinologie. . . . . Estrade.
Chirurgie générale. . . . . Gédéon.
Electro-Radiologie. . . . . Pons.
Hématologie. . . . . Ducos.
Histologie et Embryologie. . . . Guilhem (A.).
Médecine générale. . . . . Monnier.
Oto-Rhino-Laryngologie. . . . . Claux.
Pathologie expérimentale. . . . Gleizes.
Physiologie. . . . . Bessou.
Physique médicale. . . . . Commanay.

AGREGES

Médecine générale. . . . . MM. Ribaut.
— . . . . . Calazel.
— . . . . . Rascol.
— . . . . . Le Taliec.
— . . . . . Ribet.
Chirurgie générale. . . . . Enjalbert.
— . . . . . Ficat.
— . . . . . Pasquié.
— . . . . . Souquet.
— . . . . . Safrazin.
— . . . . . Gaubert.
Dermatologie - Syphiligraphie Dupré.
Hydrologie. . . . . Denard.
Médecine légale. . . . . Grèzes-Rueff.
Neurochirurgie. . . . . Espagno (J.).
Neurologie et Psychiatrie. . . . Gayral.
Obstétrique . . . . . Espagno (Guy).
Ophtalmologie. . . . . Bec.
Pneumo-Phtisiologie. . . . . Delaude.

AGREGES LIBRES

Anatomie. . . . . MM. Thomas.
Pathologie chirurgicale . . . . . Dieulafé.

SECTION PHARMACIE

PROFESSEURS

Botanique, Cryptogamie. . . . . Mme Dulucq-Mathou.
Chimie analytique, Toxicologie et Hygiène industrielle. MM. Bourbon.
Chimie pharmaceutique. . . . . Blanc.
Matière médicale. . . . . Vincent.
Pharmacie chimique et Pharmacodynamie . . . . . Caujolle.
Pharmacie galénique . . . . . Stanislas.
Zoologie. . . . . Roux.

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

Pharmacie. . . . . M. Couturier.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Sciences naturelles . . . . . Mme Caujolle.

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Microbiologie. . . . . MM. Breuillaud.
Sciences physiques . . . . . Pitet.
Toxicologie. . . . . Broussy G.

PERSONNEL ADMINISTRATIF

Secrétaire principal. . . . . MM. Roche.
Secrétaire. . . . . Berrut.

La Faculté déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.
(Délibération en date du 12 mai 1891)

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

ANNÉE 1963 N° 209

Principales modifications physico-chimiques du Plasma sanguin au cours du travail musculaire chez l'homme

THÈSE

POUR LE DOCTORAT EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement en Juin 1963

PAR

Jean-Jacques LEGRIS

Pharmacien
Moniteur de Physique à la Faculté
Diplômé de Sérologie, d'Hydrologie et de Phytopharmacie

MEMBRES DU JURY..

MM.	AUVERGNAT	*Président*
	BLANC	
	BOURBON	*Assesseurs.*
	BREUILLAUD	
	BROUSSY	*Suppléant.*

IMPRIMERIE TOULOUSAINE Vve LION
16, RUE LAKANAL, 16
TOULOUSE

1963

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A LA MÉMOIRE DE MES GRANDS-PARENTS

A MES GRANDS-PARENTS

A MON PÈRE ET A MA MÈRE

Je suis heureux de vous apporter en ce jour le témoignage de mon infinie reconnaissance et de ma plus profonde affection.

A NICOLE

A MA SŒUR

A TOUS MES PARENTS

A TOUS MES AMIS

A NOTRE MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE :

Monsieur le Professeur R. AUVERGNAT

Professeur de Physico-Chimie
Chevalier de la Légion d'Honneur

Vous nous avez fait le grand honneur de nous admettre parmi vos élèves.

Toujours nous avons trouvé auprès de vous un accueil bienveillant.

Nous ne vous témoignerons jamais assez notre admiration, notre gratitude et notre respectueux attachement.

A NOTRE JURY DE THÈSE :

MONSIEUR LE PROFESSEUR P. BLANC

Professeur de Chimie Pharmaceutique
Chevalier de la Légion d'Honneur

Nous fait l'honneur de siéger à notre Jury de Thèse. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre profond respect.

MONSIEUR LE PROFESSEUR P. BOURBON

Professeur de Toxicologie

Il nous est agréable de vous exprimer toute notre respectueuse reconnaissance.

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. BREUILLAUD

Professeur de Microbiologie

Avec l'assurance de notre sincère gratitude.

MONSIEUR LE PROFESSEUR GEORGES BROUSSY

Maître de Conférences Agrégé à la Faculté

Avec nos plus vifs remerciements.

MONSIEUR LE PROFESSEUR L. BUGNARD

Directeur de l'Institut National d'Hygiène

Officier de la Légion d'Honneur

En hommage respectueux.

A TOUS NOS MAITRES DE LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

A NOTRE MAITRE DE STAGE MADAME O. AUVERGNAT

Avec notre profond respect, nous lui adressons notre sincère reconnaissance.

A MONSIEUR LE DOCTEUR R. GUIRAUD

Chef de travaux

En témoignage de notre amitié.

INTRODUCTION

Le fonctionnement de l'appareil musculaire et la période de réparation qui lui fait suite s'accompagnent de modifications sanguines dont l'étude a fait l'objet de nombreux travaux.

Ces modifications reflètent en effet les changements métaboliques importants qui se produisent au cours de la contraction musculaire durant laquelle la plupart des fonctions du sang sont mises à contribution d'une manière beaucoup plus intense qu'au repos. Cet accroissement relève de plusieurs mécanismes. On constate tout d'abord une irrigation beaucoup plus importante du muscle au moment de la contraction. De nombreux capillaires fermés dans le muscle au repos s'ouvrent à la circulation lors du travail. Cette ouverture dépend de modifications locales : les métabolites qui résultent de la contraction des premières fibres musculaires qui entrent en action provoquent l'ouverture de capillaires jusque-là fermés et en augmentent la perméabilité.

Par ailleurs, le système nerveux intervient également pour modifier la distribution sanguine, localement dans le muscle lui-même et dans la circulation générale pour accroître l'irrigation musculaire aux dépens de l'irrigation viscérale lors de la contraction prolongée d'un groupe de muscles.

Le débit sanguin dans un muscle au travail est ainsi très fortement augmenté. Selon Krogh, le nombre des capillaires ouverts dans le muscle qui se contracte serait dix fois plus grand qu'au repos.

D'autre part, les conditions physico-chimiques qui sont localement créées dans le muscle par sa contraction interviennent pour faciliter l'apport d'oxygène aux fibres musculaires. L'augmentation importante des besoins en oxygène au cours de l'effort est partiellement satisfaite par une utilisation plus complète de la quantité d'oxygène contenu dans le sang artériel qui traverse le muscle.

Dans notre travail consacré aux principales modifications physico-chimiques du plasma sanguin au cours du travail musculaire, nous laisserons de côté un facteur essentiel de la quantité de sang qui traverse le muscle : la réponse des appareils cardiaque et pulmonaire à l'effort.

L'importance du facteur sanguin au cours du travail musculaire se manifeste également dans le maintien de la constance du milieu intérieur. La mise en jeu du système musculaire aboutit essentiellement à la production d'éléments acides : acide carbonique et surtout acide lactique. Par la

présence des systèmes tampons qu'il contient, le sang est capable de lutter contre l'acidose qui est une conséquence du travail musculaire. Divers mécanismes compensateurs et en particulier l'hyperventilation pulmonaire qui augmente l'élimination de l'anhydride carbonique, contribuent à cette régulation.

La rapidité d'action de ces mécanismes régulateurs du pH est un des facteurs essentiels que possède un individu quant à ses possibilités de fournir un effort plus ou moins intense et de plus ou moins longue durée.

Les éléments plasmatiques de cette régulation sont conditionnés par l'importance de la réserve alcaline.

Cependant, si les perturbations provoquées sont suffisamment intenses, ces mécanismes régulateurs peuvent être passagèrement débordés et de notables variations apparaissent alors dans la composition du plasma sanguin. L'importance et la durée de ces modifications sont d'ailleurs liées à l'intensité de l'effort. Elles sont particulièrement marquées à la suite d'un travail musculaire intense et suffisamment prolongé, incompatible avec l'établissement d'un état d'équilibre. Les perturbations de l'équilibre acide-base sont à leur tour responsables d'importants et rapides mouvements d'électrolytes.

Il est maintenant établi que les modifications du taux des bicarbonates plasmatiques sont en relation avec la teneur des cellules en Potassium et en Sodium.

Les analyses des tissus musculaires d'animaux soumis à des conditions expérimentales diverses ont montré que l'appauvrissement de la cellule en Potassium s'accompagne régulièrement d'une alcalose du liquide extracellulaire qui retentit sur l'équilibre acide-base plasmatique. En réalisant artificiellement la déficience cellulaire en Potassium, soit par un régime pauvre en Potassium et riche en Sodium, soit au moyen d'injection de désoxycorticostérone, soit par l'association des deux procédés, on a pu constater que le taux des bicarbonates dans le sang varie dans le même sens que le taux du Sodium cellulaire et en raison inverse de la concentration cellulaire en Potassium. Cette relation entre la perte de potassium et l'alcalose a été confirmée chez l'homme.

En opposition, l'acidose obtenue par la perte de l'ion sodium produit d'abord une augmentation de la concentration du Potassium dans les cellules et une diminution du Sodium intracellulaire.

Par ailleurs, le muscle au travail cède du potassium ainsi que l'ont montré plusieurs auteurs et en particulier Fenn.

Enfin, l'on sait que chez l'homme un travail musculaire suffisamment intense est toujours suivi d'une élévation de la pression osmotique totale du plasma sanguin (Hill A.V., Auvergnat R.), pression osmotique dont le Sodium est un des facteurs les plus importants.

C'est pourquoi au cours de recherches systématiques poursuivies au Laboratoire de Physique de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de

Toulouse, sur les modifications sanguines qui accompagnent le travail musculaire chez l'homme, il nous a paru intéressant d'étudier les variations simultanées de la teneur en CO_2 et en acide lactique, du pH, du taux du Sodium, du Potassium et des électrolytes totaux du plasma sanguin au cours du travail musculaire.

Dans un premier chapitre nous exposerons les résultats de notre étude des variations du pH, de la teneur en CO_2 et du taux de l'acide lactique du plasma veineux sous l'influence du travail musculaire.

Dans un deuxième chapitre nous rapporterons les variations concomittantes du taux du sodium de celui du potassium et de la teneur en électrolytes totaux.

Nous formulerons ensuite les conclusions de notre travail.

Les diverses déterminations que nous avons pratiquées pour ces recherches nécessitent des quantités de sang qui rendent obligatoire la ponction veineuse. Nous avons dû en pratiquer deux chez chaque sujet, la première peu avant l'effort, la seconde immédiatement après l'effort. Nous remercions ici ceux de nos camarades de sport qui ont eu l'amabilité de se prêter à nos recherches.

Nous tenons également à remercier nos camarades de Laboratoire, sans l'aide desquels nous n'aurions pu venir à bout de toutes les techniques utilisées au cours de ce travail.

CHAPITRE I

MODIFICATIONS DU pH, DE LA TENEUR EN CO_2 ET DU TAUX DE L'ACIDE LACTIQUE DU PLASMA SANGUIN AU COURS DE L'EXERCICE

Chez un sujet normal, au repos, le sang a une réaction très légèrement alcaline; le pH remarquablement constant est compris entre 7,30 et 7,40. Cette constance est assurée essentiellement par la présence dans le sang de substances tampons. On sait que dans le plasma sanguin le tampon essentiel est constitué par les bicarbonates alcalins qui s'y trouvent en solution. Ces bicarbonates alcalins donnent sous l'action d'un acide un dégagement de CO_2 dont le volume, ramené à 0° C et sous la pression de 76 cm de Hg, est

compris normalement entre 50 et 60 cm^3 pour 100 cm^3 de plasma.

La valeur du pH peut d'ailleurs être calculée à partir du rapport du taux des bicarbonates et de celui de l'acide carbonique libre; tout processus qui provoque un accroissement de la quantité d'acide carbonique libre du plasma tendra à modifier ce rapport et par conséquent la valeur du pH. Au cours d'un travail musculaire violent, le muscle travaille pratiquement en anaérobiose, il épuise en un temps très court le principal de ses réserves en glucides pour produire de l'acide lactique. L'effort accompli, le sujet est obligé de se reposer quelques minutes pour laisser ses muscles refaire leur provision de glycogène et se débarrasser de leur acide lactique. Une part importante de cet acide passe dans le sang où il y a formation de lactates alcalins et libération d'acides faibles peu ionisés tel que CO_3H_2 et par suite abaissement du taux des bicarbonates alcalins; tant que la quantité d'acide lactique déversée dans le sang n'est pas trop forte, le pH sanguin ne varie pas ou très peu. Cependant, à la suite d'un travail musculaire très intense et rapide incompatible avec l'établissement d'un état d'équilibre, ce mécanisme régulateur peut être débordé et d'importantes diminutions du pH apparaissent alors.

Les recherches sur les modifications de la réserve alcaline au cours du travail musculaire ont généralement été effectuées en même temps que celles faites sur le taux de l'acide lactique en particulier par Dill, Edwards et Talbott-Bock, Van Caulaert, Dill, Falling et Hurxsthal. Ces travaux

mettent en évidence les variations opposées du taux de l'acide lactique et de la teneur en CO_2 du plasma veineux au cours de l'effort.

Recherches personnelles

Toutes nos recherches ont été effectuées chez des sujets jeunes et généralement bien entraînés. Pour chacun d'eux nous avons déterminé le pH, la teneur en CO_2 et le taux de l'acide lactique du plasma veineux avant et immédiatement après diverses épreuves sportives (courses de vitesse ou épreuves de natation) demandant toutes un effort violent mais relativement peu prolongé.

Une première prise de sang est faite peu avant l'effort par ponction veineuse au niveau du pli du coude; la mise en place d'un garrot peu serré facilite la ponction sans entraîner de stase sanguine. Une seconde prise est effectuée dans les mêmes conditions le plus rapidement possible après la cessation de l'effort musculaire.

Les quantités de sang nécessaires aux diverses déterminations se répartissent ainsi :

Cinq centimètres cubes environ destinés à la mesure du pH et de la teneur en CO_2 sont mis dans un tube à centrifuger en présence d'oxalate de sodium et sous huile de paraffine neutre. Dix centimètres cubes environ nécessaires au dosage de l'acide lactique sont recueillis sur une petite

quantité (environ 0,2 % en poids) d'un mélange de neuf parties d'oxalate de sodium et d'une partie de fluorure de sodium. L'addition de fluorure de sodium empêche la glycolyse et évite ainsi les causes d'erreurs par excès dans le dosage de l'acide lactique.

Techniques utilisées

Pour ce dosage nous avons utilisé la méthode décrite par Rogeon. C'est la technique de Furth et Charnass modifiée par Friedmann, Cotonio et Schaffer.

Nous en rappelons brièvement le principe : l'acide lactique est oxydé par du permanganate de potassium en milieu sulfurique. Cette oxydation est accélérée en ajoutant du sulfate de manganèse au milieu sulfurique. Il est d'ailleurs indispensable d'ajouter du sulfate de manganèse lorsque l'on dose l'acide lactique en présence de fluorure car la formation de complexes manganèse fluorure gêne l'oxydation de l'acide lactique ce qui conduit à des pertes apparentes de cet acide (Lippman). Le bioxyde de manganèse formé accélère et régularise l'oxydation par action catalytique. L'acétaldéhyde formé est entraîné par un courant d'air et fixé dans une solution de bisulfite de sodium. La combinaison acétaldéhyde bisulfite est ensuite détruite et le bisulfite libéré est dosé par l'iode.

Le taux de l'acide lactique est exprimé en milligrammes pour cent centimètres cubes de plasma.

La teneur en CO_2 du plasma obtenu par centrifugation sous huile de paraffine neutre du sang oxalaté est mesurée à l'aide de l'appareil manométrique de Van Slyke. Cet appareil permet la détermination de la teneur en CO_2 sur de petites quantités de plasma (1 cm^3 ou même moins).

Le CO_2 de la prise d'essai est dégagé par une solution d'acide lactique, le dégagement est facilité par l'action du vide et par l'agitation.

On détermine dans un premier temps la pression du CO_2 dégagé puis on mesure à nouveau la pression après absorption de ce CO_2 par une petite quantité d'une solution concentrée de soude.

La différence entre ces deux pressions donne la valeur de la pression partielle de CO_2 et permet de calculer facilement son taux dans l'échantillon analysé.

Pour le pH, la mesure est faite par la méthode électrométrique sur le plasma obtenu après centrifugation sous huile de paraffine neutre du sang rendu incoagulable par de l'oxalate de sodium.

Les déterminations sont toujours faites en double moins de deux heures après les prélèvements.

Nous avons utilisé l'électrode de verre, avec électrode de référence au calomel, ensemble dont la précision est de un cinquantième d'unité pH.

Tableau 1
COURSES

Sujets	Epreuves	de sang Prises	total CO_2	lactique Acide	pH
1	100 mètres	Avant	60,3	19,3	7.36
		Après	43,9	86,5	7,14
2	100 mètres	Avant	61,5	22,6	7,38
		Après	46	89,3	7,12
3	200 mètres	Avant	61,5	24,8	7,36
		Après	42,3	128	7,08
4	200 mètres	Avant	58,5	21,5	7,34
		Après	40,7	130,5	7,06
5	400 mètres	Avant	68,2	22,6	7,40
		Après	38,5	162,2	7,04
6	400 mètres	Avant	66	21,3	7,38
		Après	42	129,8	7,06
7	400 mètres	Avant	61	24,6	7,38
		Après	46	118,7	7,08
8	400 mètres	Avant	58,2	19,6	7,36
		Après	42,1	155,3	7,04
9	400 mètres	Avant	60,5	20,4	7,36
		Après	43,7	139,8	7,06
10	800 mètres	Avant	56	20,8	7,36
		Après	39	97,3	7,12

Le taux du CO_2 est exprimé en nombre de centimètres cubes dégagés par 100 cm^3 de plasma à 0° C et sous 76 cm de Hg.

Le taux de l'acide lactique est exprimé en milligrammes pour 100 cm^3 de plasma.

Les valeurs du pH sont données à 37° C.

Tableau 2

NATATION

Sujets	Epreuves	Prises de sang	CO_2 total	Acide lactique	pH
11	100 mètres crawl	Avant	63,5	19,7	7,36
		Après	42,5	98,5	7,08
12	100 mètres crawl	Avant	58,5	18,5	7,34
		Après	43,5	84,7	7,10
13	100 mètres crawl	Avant	62,5	23	7,38
		Après	41,5	108	7,06
14	100 mètres brasse	Avant	61,4	32	7,28
		Après	42,5	112	7,02
15	100 m brasse papillon	Avant	60,5	28,5	7,32
		Après	40,2	106,5	7,06
16	100 m brasse papillon	Avant	63,5	19,8	7,38
		Après	41,5	100,5	7,08
17	400 mètres crawl	Avant	62,5	16,5	7,40
		Après	37,5	87,6	7,16
18	400 mètres crawl	Avant	61,6	32,5	7,32
		Après	42,5	104,6	7,14
19	400 mètres crawl	Avant	63,4	14,8	7,40
		Après	43,6	95,5	7,18
20	400 mètres crawl	Avant	61,8	16,8	7,38
		Après	42,8	98,6	7,14

Le taux du CO_2 est exprimé en nombre de centimètres cubes dégagés par 100 cm^3 de plasma à 0° C et sous 76 cm de Hg.

Le taux de l'acide lactique est exprimé en milligrammes pour 100 cm^3 de plasma.

Les valeurs du pH sont données à 37° C.

Résultats

Les variations simultanées de la réserve alcaline du taux de l'acide lactique et du pH sont rapportés dans les tableaux I et II.

Leur examen montre :

1° Que chez un sportif entraîné, au repos, la réserve alcaline a une valeur légèrement supérieure à la normale; la valeur moyenne pour les 20 sujets examinés est en effet de 61,5.

Cette augmentation de la réserve alcaline chez un sujet jeune et entraîné a déjà été signalée par Full et Herxheimer, Atzler, Nichil et Auvergnat. Elle paraît devoir être attribuée à l'entraînement. D'une manière générale la réserve alcaline est fortement abaissée par un effort musculaire violent. La valeur moyenne après l'effort est en effet de 42,1 ce qui correspond à une diminution importante d'environ 31 %.

Les résultats obtenus sont assez homogènes pour que la moyenne soit significative, cependant on peut constater des différences notables entre les cas extrêmes.

Les variations de la réserve alcaline que nous avons rapportées paraissent plus fortes que celles qui ont été observées par la majorité des auteurs. Nous pensons que cela tient au fait que dans leurs recherches ces auteurs ont imposé la même épreuve témoin à tous les sujets entraînés ou non; une telle épreuve, si elle est accessible à tous, est loin

d'imposer l'effort maximum aux sujets entraînés. Au contraire, dans nos recherches, l'effort fourni a été, dans la plupart des cas, très proche du maximum réalisable par chaque individu.

2° Que le taux de l'acide lactique chez un sujet au repos est généralement inférieur à 30 mg pour 100. La valeur moyenne concorde avec celle qui est considérée comme normale et significative de l'état de repos.

Les rares valeurs élevées observées avant l'effort témoignent d'une activité musculaire antérieure. Il faut d'ailleurs remarquer que ces valeurs légèrement élevées correspondent à des valeurs normales de la teneur en CO_2 total et suggèrent l'existence d'un mécanisme compensateur dans la répartition des bases du plasma après retour à une ventilation pulmonaire normale.

Dans tous les cas on observe une forte élévation du taux de l'acide lactique plasmatique après l'effort. Les variations que nous avons constatées sont, dans leur ensemble, supérieures à celles qui ont été rapportées par la plupart des auteurs. Cependant, Turrel et Robinson ont montré que le taux de l'acide lactique sanguin pouvait atteindre 198 mg par litre après un effort particulièrement sévère. Cette quantité correspondrait d'ailleurs à un maximum, le pH du sang artériel étant à ce moment de 6,97.

3° Que la valeur moyenne du pH, pour nos 20 sujets, est normale au repos.

Dans tous les cas le pH a beaucoup baissé

durant l'effort (compte tenu de sa stabilité habituelle), on peut donc en conclure que, chez tous les sujets observés, le mécanisme de régulation de l'acidité ionique du plasma a été débordé dans les instants qui ont immédiatement suivi un effort sévère. Cette chute de pH se produit parallèlement à celle de la réserve alcaline.

Les diminutions les plus marquées ont été observées au cours des épreuves sportives demandant un effort très intense et relativement prolongé. C'est ainsi que pour les coureurs de 400 m et pour les nageurs de 100 m (nage libre, brasse ou brasse papillon) le pH s'abaisse jusqu'à des valeurs de l'ordre de 7,06 en moyenne.

Pour les épreuves demandant soit un effort intense mais de courte durée (courses à pied de 100 mètres) soit un effort prolongé mais moins sévère (couses de natation de 400 mètres et courses à pied de 800 mètres) le pH diminue moins et n'est jamais inférieur à 7,12 après l'effort.

CHAPITRE II

VARIATIONS DU TAUX SERIQUE DU SODIUM, DU POTASSIUM ET DES ELECTROLYTES TOTAUX

Si l'on exprime la concentration des électrolytes sériques en milligrammes-équivalents ou milliéquivalents par litre de sérum, on obtient selon le procédé de Gamble un ionogramme dans lequel la somme des cations et celle des anions forment deux colonnes de même hauteur.

En effet, dans le sérum comme dans toute solution d'électrolytes les valences positives et négatives sont équilibrées de manière à avoir la neutralité électrique. C'est pourquoi lors de changements se produisant dans le complexe électrolytique d'une colonne de même que lors de modi-

fications du nombre des cations ou des anions, les deux colonnes de l'ionogramme restent égales entre elles. Par exemple l'augmentation ou la diminution du taux des bicarbonates est compensée par des modifications opposées du taux des chlorures; les changements de la teneur en Sodium entraînent normalement des changements correspondants dans le total des cations.

De telles modifications sont accompagnées de variations du pH mais comme le sérum est une solution tampon, ce changement ne peut franchir les bornes du pH physiologique que si le pouvoir tampon du sang est dépassé. Or, nous avons vu dans le précédent chapitre qu'au cours du travail musculaire intense et suffisamment prolongé correspondant aux diverses épreuves sportives imposées à nos sujets, les mécanismes régulateurs du pH sanguin étaient passagèrement débordés. On sait également que le muscle qui se contracte cède du potassium ainsi que l'ont montré plusieurs auteurs et en particulier Fenn. Enfin, le sodium est un des éléments constitutifs les plus importants de la pression osmotique sanguine qui, malgré sa stabilité habituelle, augmente toujours à la suite d'un effort (Hill A. V., Auvergnat R.).

Toutes ces considérations font qu'il nous a paru intéressant d'étudier les modifications du taux sérique du sodium, du potassium et des électrolytes totaux au cours du travail musculaire.

Techniques utilisées.

Pour chaque prise de sang le sérum est séparé rapidement des hématies dès que la coagulation est complète; on évite ainsi les échanges d'ions entre les hématies et le sérum et en particulier la diffusion dans ce dernier du potassium qui se trouve à un taux élevé dans les globules.

La teneur du sérum en électrolytes totaux est calculée selon le procédé indiqué par Sundermann, à partir de la valeur de la conductivité électrique du sérum et en tenant compte du taux des protéines. La conductivité électrique est mesurée à l'aide de la méthode de Kohlrausch qui consiste à utiliser un pont de Wheatstone alimenté en courant alternatif. La mesure en courant continu produirait des phénomènes de polarisation des électrodes par les modifications dont sont responsables les réactions chimiques dues à l'électrolyse.

La polarisation des électrodes n'apparaît pas instantanément mais après un temps très court. Par conséquent, si l'on emploi un courant alternatif de fréquence suffisamment élevée, par exemple de 1.000 cycles/seconde, la polarisation qui se réalise pendant une alternance est très faible et entièrement effacée par l'alternance suivante.

Dans nos mesures le courant alternatif de 1.000 cycles/seconde est fourni par une oscillation électronique. L'indicateur de zéro est un trèfle cathodique. La cellule à résistivité de faible contenance

(3 cm^3 environ) est placée dans un bain thermostatique réglé à 37° C.

Avant chaque série de mesures la constance du coefficient de cette cuve est vérifiée à l'aide d'une solution de Chlorure de Potassium N/10 dont la résistivité connue est voisine de celle du sérum sanguin. Il suffit alors de multiplier par ce coefficient de cuve la valeur de la résistance mesurée pour obtenir la résistivité et son inverse la conductivité du sérum étudié.

La détermination du taux des protéines sériques qui intervient dans le calcul du taux des électrolytes à partir de la valeur de la conductivité n'a pas besoin d'être faite avec une grande précision; c'est pourquoi nous avons utilisé la méthode de Philipps et Van Slyke. Cette méthode commode et rapide est basée sur le fait que la densité du sérum est une fonction pratiquement linéaire de sa teneur en protéine.

Le principe de la technique de Philipps et Van Slyke est le suivant : on cherche, en utilisant des solutions de sulfate de cuivre de densités croissantes et connues celles dans laquelle une goutte de sérum reste en équilibre. La goutte de sérum n'a pas besoin d'être calibrée puisqu'il s'agit d'une méthode statique. L'utilisation de solutions de sulfate de cuivre, faciles à préparer, présente l'avantage de ne pas nécessiter de correction de température.

Le taux des protéines exprimé en grammes par litre de sérum est donné par la relation de Van Slyke :

$$P = 3.600\ (G - 1.0070)$$

relation dans laquelle P est le taux des protéines et G la densité du sérum.

Pour le dosage du Sodium et du Potassium nous avons utilisé la technique maintenant classique de la spectrophotométrie de flamme.

Le spectrophotomètre dont nous nous sommes servi est un appareil à prisme et à cellules photoémissives suivies d'un amplificateur électronique. La flamme utilisée est celle « acétylène-oxygène ». La pression d'admission des deux gaz dans le brûleur est parfaitement stabilisée à l'aide d'un système de double manodétendeur en série pour chaque gaz.

Pour obtenir des dosages précis, il est nécessaire d'utiliser des pipettes et des ballons jaugés dont l'étalonnage a été au préalable soigneusement vérifié et dont la propreté chimique doit être parfaite comme d'ailleurs celle du matériel de prélèvement sanguin.

Pour le dosage du Sodium le sérum est dilué au centième avec de l'eau distillée.

Pour le dosage du Potassium le sérum est dilué au cinquantième avec une solution de Chlorure de Sodium dont la concentration dépend de la teneur en Sodium, préalablement mesurée, de l'échantillon de sérum étudié. On neutralise ainsi « l'interférence » du Sodium sur le Potassium. Chacun de nos résultats est la moyenne d'au moins trois déterminations successives pour chaque échantillon.

Résultats.

Les résultats que nous avons obtenus sont rapportés dans les tableaux I bis et II bis. Nous avons gardé le même numérotage que pour les tableaux I et II du chapitre précédent. Il s'agit en effet des mêmes prélèvements faits sur les mêmes sujets.

L'examen de ces tableaux montre qu'au cours des diverses épreuves le taux sérique du sodium, du potassium et des électrolytes s'est toujours élevé. Signalons, bien que les résultats correspondants n'en soient point rapportés ici, que nous avons toujours également constaté une élévation du taux des protéines du sérum — fait d'ailleurs déjà rapporté par de nombreux auteurs et traduisant une notable concentration sanguine au cours de l'effort.

L'examen de ces tableaux montre en outre que le taux sérique du sodium et celui du potassium, qui sont normaux chez nos sujets au repos, ne varient pas d'une manière exactement superposable au cours de l'effort.

En effet, si les variations du taux de sodium et celles des électrolytes totaux sont très sensiblement parallèles et paraissent liées essentiellement à la sévérité de l'effort fourni, par contre, celles du taux du potassium nous semblent dépendre autant de la nature de l'épreuve que de son intensité.

La valeur du rapport sodium potassium est

Tableau 1 bis

COURSES

Sujets	Epreuves	Prises de sang	Electrolytes totaux	Sodium	Potassium
1	100 mètres	Avant	298	138	4,6
		Après	309	147	4,9
2	100 mètres	Avant	296	139	4,6
		Après	306	151	5,1
3	200 mètres	Avant	299	138	4,4
		Après	305	153	4,9
4	200 mètres	Avant	298	136	4,5
		Après	306	148	5,1
5	400 mètres	Avant	304	140	4,8
		Après	315	156	5,6
6	400 mètres	Avant	302	142	4,6
		Après	314	157	5,4
7	400 mètres	Avant	301	138	4,5
		Après	316	156	5,3
8	400 mètres	Avant	298	139	4,7
		Après	315	150	5,5
9	400 mètres	Avant	302	137	4,6
		Après	318	149	5,5
10	800 mètres	Avant	304	138	4,7
		Après	309	145	5,4

Les résultats sont exprimés en milliéquivalents par litre.

Tableau 2 bis

NATATION

Sujets	Epreuves	Prises de sang	Electrolytes totaux	Sodium	Potassium
11	100 mètres crawl	Avant	298	137	4,6
		Après	312	149	5,1
12	100 mètres crawl	Avant	297	138	4,7
		Après	310	149	5,1
13	100 mètres crawl	Avant	302	140	4,8
		Après	315	151	5,2
14	100 mètres brasse	Avant	301	138	4,7
		Après	315	152	5,4
15	100 m brasse papillon	Avant	302	141	4,8
		Après	316	153	5,8
16	100 m brasse papillon	Avant	300	140	4,7
		Après	318	156	5,9
17	400 mètres crawl	Avant	297	139	4,8
		Après	314	155	5,9
18	400 mètres crawl	Avant	301	140	4,8
		Après	316	157	5,8
19	400 mètres crawl	Avant	302	138	4,6
		Après	316	156	5,7
20	400 mètres crawl	Avant	300	136	4,7
		Après	315	155	5,8

Les résultats sont exprimés en milliéquivalents par litre.

donc modifiée au cours du travail musculaire. Cette modification nous paraît essentiellement dépendre des variations du taux du potassium proportionnellement plus importantes mais moins régulières que celles du Sodium.

CONCLUSIONS

Nous avons, chez vingt sujets jeunes et entraînés, étudié les variations simultanées, au cours du travail musculaire, de la réserve alcaline, du pH, du taux de l'acide lactique, d'une part, de la teneur en électrolytes, en potassium et en sodium, d'autre part.

Nous avons constaté chez tous, et plus particulièrement chez ceux ayant produit un effort très violent pouvant aller jusqu'à l'épuisement, une forte diminution du pH et de la réserve alcaline accompagné d'une augmentation considérable du taux de l'acide lactique.

Parallèlement, nous avons observé chez ces mêmes sujets, au cours des mêmes épreuves sportives, une élévation du taux des électrolytes et de celui du potassium et du sodium en même temps qu'une modification de la valeur du rap-

port Sodium/Potassium. Si l'augmentation du taux des électrolytes et du sodium au cours de l'effort nous paraît liée à la sévérité de ce dernier par contre nous pensons que les modifications du rapport Sodium/Potassium dépendent plus de la nature du travail musculaire que de son intensité.

Vu :

Le Président de la thèse,

R. AUVERGNAT.

Vu : *Le Doyen,*

G. LAZORTHES.

Vu et permis d'imprimer :

Toulouse, le 17 juin 1963.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université,

P. DOTTIN.

BIBLIOGRAPHIE

Atzler E. (1938). Arbeits physiologie (I. Teil Ergein Physiol., 40, 235).

Auvergnat R. (1950). Variations du pH et de la pression osmotique du plasma sanguin au cours du travail musculaire. *J. Physiol.*, Paris, 42, 531.

Auvergnat R., Commanay L. et Guiraud R. (1958). Effets immédiats du travail musculaire sur la teneur en potassium et en sodium du plasma sanguin. *J. Physiol.*, Paris, 50, 142.

Bock A. V., Van Caulaert C., Dill D. B., Folling A. and Hurxsthal L. M. (1928). Studies on muscular activity III Dynamical changes occuring in man at work. *J. Physiol.*, 66, 136-161.

Dill D. B. et Brouha L. (1937). *Travail Humain*, V, I.

Dill D. B., Talbott J. H. et Edwards H. H. (1930). *Journ. Physiol.*, 69, 267.

Fenn W. O. (1939). The fate of potassium liberated from muscle during activity. *Amer. J. Physiol.*, 127, 356.

Fenn W. O. (1940). The role of potassium in physiological process. *Physiol. Rev.*, 20, 377.

Friedemann T. E., Cotonio M., and Snaffer P. A. (1927). The determination of lactic acid. *J. of biol. Chem.*, 73, 335.

Full F. und Herxeimer H. (1926). Ueber die Alkalireserve bei sportleuten. *Klein Wochschrift*, I. 228.

Furth O. et Charnass D. (1910). Uber die quantitative Bestimmung der Milchsäure durch Ermittleing der daraus abspaltbaren Aldehydmenge Z. 26, 199.

Gamble J. L. (1949). Chemical anatomy physiology and pathology of extracellular fluid. Cambridge. Mass.

Hill A. V. (1931). Adventures in Biophysics. Humphrey Milford édit. London, 1 vol., 162 p.

Hill A. V. and Kupalov L. S. (1930). The vapour pressure of muscle. *Proc. Roy. Soc. London*, B, 106, 445-477.

Krogh A. (1929). The Anatomy and physiology of capillaries revised. New Haven Yale University Press, 1 vol., 422 p.

Lipmann F. (1930). Uber den Tätigkeistsstoffwechsel des fluoridvergifeten muskels. *Bioch.*, Z, 227, 110.

Nichil J. (1943). Contribution à l'étude des modifications sanguines au cours de l'effort musculaire. *Thèse médecine*, Toulouse.

Philipps R. A. and al (1943). Copper sulfate method for measuring specific gravities of wholie blood and plasma. U.S. Navy dept. bumed news letter, I, 1-16.

Rogeon J. (1937). Recherches sur la teneur du sang en acide lactique. *Thèse Pharmacie*, Toulouse.

Sunderman F. W. (1945). Measurement of serum total base. *Americ. J. Clin. Path.*, 15, 219.

Turrel E. S. and Robinson S. (1942). *Am. J. Physiol.*, 137, 742-745.

Van Slyke D. and Peters J. L. (1931-1932). Quantitative Clinical Chemistry. Bailleres Tindal and Cox London, 2 vol.

Imprimerie Toulousaine
Vve Lion
16, rue Lakanal - Toulouse

Dépôt légal 2e trim. 63, Aa 412